

## 2. La stesura dei capitoli

### 2.1 - Definizione delle caratteristiche dei materiali da impiegare

Un buon capitolo e, in sostanza, una descrizione tecnica non equivoca e deve essere tale da consentire al preposto di operare senza incertezze. I capitoli si possono ricondurre a due tipi-base:

— capitoli «prestazionali»: vengono solo descritti con chiarezza i risultati da ottenere e le verifiche che, eventualmente, si compiranno per controllare la bontà del risultato;

— capitoli «descrittivi»: sono descritti in dettaglio i materiali da usare e le operazioni da compiere.

Nella realtà ci si troverà spesso in casi intermedi più o meno spostati verso un estremo.

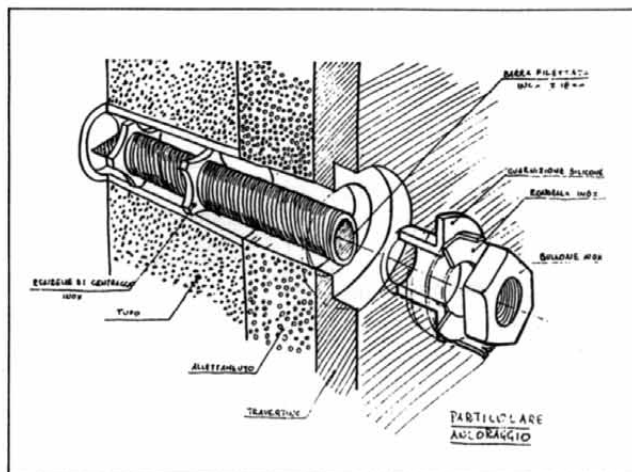
Chiaramente i capitoli prestazionali sono idonei solo per un

operatore preparato e che voglia assumere in proprio, personalmente, la responsabilità connessa alla progettazione ed alla direzione lavori. Solo il collaudo resta estraneo all'operatore.

Non si dispone spesso di operatori di tal fatta anche perché, soprattutto nel caso del restauro strutturale, non esiste ad oggi una conoscenza diffusa e conso-

lidata dell'argomento per cui è logico che la responsabilità delle scelte progettuali ed esecutive resti in larga parte al progettista. In presenza di capitoli descrittivi chi opera è responsabile dei mezzi e dei modi, ma la responsabilità del risultato rimane al progettista che ha dato le prescrizioni. Si hanno perciò specifiche assai dettagliate del tipo

Fig. 12 - Esempio di progetto e capitolo "descrittivo" (Arch. RESTA - Lecce)

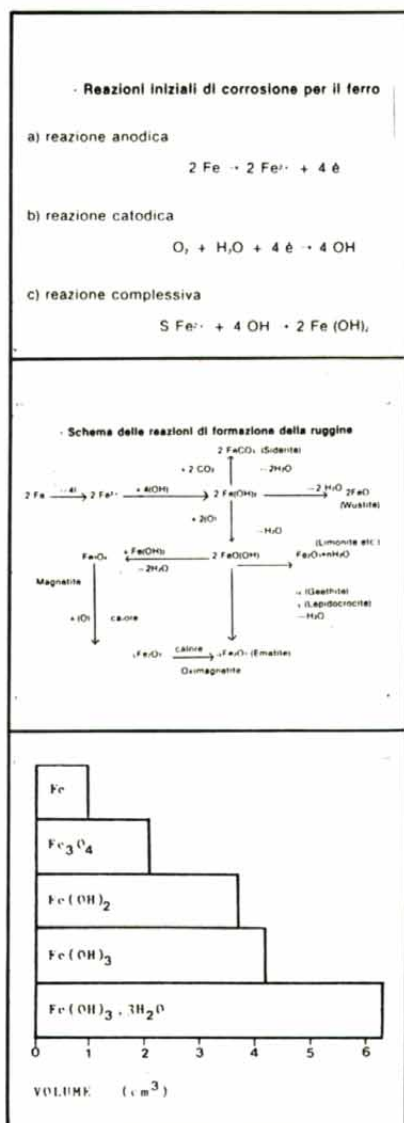


#### Esempio 2

Ancoraggio su cls da realizzarsi come segue:

- 1 - Formazione di foro, realizzato con apparato a sola rotazione, del diametro non inferiore a mm. 12 per indagine endoscopica;
- 2 - Indagine endoscopica preliminare per l'individuazione della morfologia dei materiali costituenti il rivestimento. Saranno effettuate, se significative, delle riprese fotografiche;
- 3 - Formazione, tramite carotatrice, di foro del diametro 28 mm. con una profondità variabile tra i 18 e 24 cm. a seconda di quanto individuato dall'indagine di cui al punto 2 e comunque con un minimo di profondità nel cls. di cm. 12;
- 4 - Indagine endoscopica di verifica;
- 5 - Formazione dell'alloggiamento del sistema guarnizione - rondella - bullone mediante carotatura di un cilindro del diametro di 60 mm. e di altezza max 20 mm.;
- 6 - Posizionamento della barra di ancoraggio costituita da un tubo filettato in acciaio AISI 316 completo di rondelle di centraggio realizzate nello stesso materiale (vedi particolare costruttivo Fig. 12). Il tubo avrà un diametro esterno di mm. 18 ed un diametro interno di mm. 10;
- 7 - Riempimento della camera di ancoraggio mediante iniezione di betoncino epossidico realizzato miscelando in rapporto in peso 1:1 polimeri e quarzo sferoidale di granulometri variabile tra 0.5 e 1.5 mm. Il formulato epossidico dovrà avere modulo elastico a compressione compreso fra 18.000 e 30.000 Kg/cm<sup>2</sup> e viscosità a 25°C compresa tra 500 e 900 Cps;
- 8 - Posizionamento della guarnizione in silicone;
- 9 - Posizionamento della rondella e del bullone di fissaggio;
- 10 - Collaudo in opera dell'ancoraggio con chiave dinamometrica tarata a 300 Kg di tiro da realizzarsi in contraddittorio con la D.L.

Fig. 13



di quelle riportate in esempio 2. Per redigere ogni voce occorre quindi che il progettista abbia chiaro lo schema di degrado (vedi Fig. 1) e le possibilità della tecnica d'intervento allo stadio attuale (ad esempio fino a poco tempo fa era impensabile non prescrivere la demolizione del calcestruzzo carbonatato, oggi invece ove necessario ed economicamente conveniente è possibile operare con metodi elettrochimici alla ri-alkalinizzazione dello stesso). I materiali prescritti devono essere caratterizzati da una scheda tecnica esauriente (Fig. 10). Analogamente si procederà con i metodi di applicazioni (vedi Fig. 12 ed Esempio 2).

Tab. 1 - Tabella teorica e pratica delle elettropositività dei materiali

Reazioni	$E_a$ (V)	Reazioni	$E_a$ (V)
$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}$	-3,045	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}$	0,08
$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{K}$	-2,924	$\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{HS}^- + 2\text{OH}^-$	0,14
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ca}$	-2,76	$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+} (\text{HCl } 1\text{F})$	0,15
$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}$	-2,7109	$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}^+$	0,158
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2,375	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^-$	0,2682
$\text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{OH}^-$	-2,10	$\text{Cu}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	0,337
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}$	-1,71	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$	0,401
$\text{Ti}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ti}$	-1,63	$\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	0,521
$\text{ZnO} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn} + 4\text{OH}^-$	-1,22	$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{I}^-$	0,536
$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}$	-1,03	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{HO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,682
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0,828	$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	0,771
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0,7628	$\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Hg}$	0,7961
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0,74	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}$	0,7996
$\text{Te} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{Te} + 2\text{OH}^-$	-0,72	$2\text{NO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 + 6\text{OH}^-$	0,80
$\text{As} + 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{AsH}_3 + 3\text{OH}^-$	-0,60	$\text{NO}_2^- + 3\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{HNO}_2 + 4\text{OH}^-$	0,94
$\text{Cr}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0,557	$\text{NO}_2^- + 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{NO} + 6\text{OH}^-$	0,96
$\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{P} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,51	$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	1,087
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	-0,409	$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pt}$	1,2
$\text{Cr}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}^{2+}$	-0,41	$\text{MnO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 6\text{OH}^-$	1,21
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}$	-0,4026	$\text{O}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 6\text{H}_2\text{O}$	1,229
$\text{Se} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{Se} + 2\text{OH}^-$	-0,40	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}_2\text{O} + 6\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 21\text{OH}^-$	1,31
$\text{Ti}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ti}$	-0,363	$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	1,358
$\text{Co}^{3+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Co}$	-0,277	$\text{ClO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{e}^- \rightleftharpoons 6\text{Cl}^- + 9\text{OH}^-$	1,45
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0,240	$\text{PbO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 6\text{OH}^-$	1,455
$\text{Ni}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}_3\text{H}_2 + 3\text{OH}^-$	-0,21	$\text{MnO}_2 + 8\text{H}_2\text{O} + 5\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 12\text{OH}^-$	1,50
$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0,1364	$\text{HClO} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{SOCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,63
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0,1263	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{H}_2\text{O}$	1,776
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	0,000	$\text{Co}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Co}^{2+} (\text{HNO}_3, 1\text{F})$	1,842
$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	0,0	$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	2,87

## 2.2 - Controllo delle variazioni dimensionali dei materiali

Qualunque ricostruzione di sezione od intervento di manutenzione richiede di accoppiare materiali diversi tra loro o per costituzione (esempio: acciai inox con calcestruzzo) o almeno per età (malte di riparazione con calcestruzzi vecchi di 10-20 anni, ecc.).

È quindi necessario verificare preliminarmente se le caratteristiche di diversi materiali impie-

gati siano tra di loro compatibili per l'aspetto elettrochimico, per le variazioni dimensionali conseguenti alle variazioni termogravimetriche, ed infine per quelle dovute all'invecchiamento dei materiali stessi (vedi tabella 1 e Figg. 13-14).

Occorre anche verificare l'evolversi nel tempo delle caratteristiche meccaniche dei materiali di elasticimento). Si ricordi che quello che interessa è in particolare il prodotto della variazione dimensionale differenziale im-

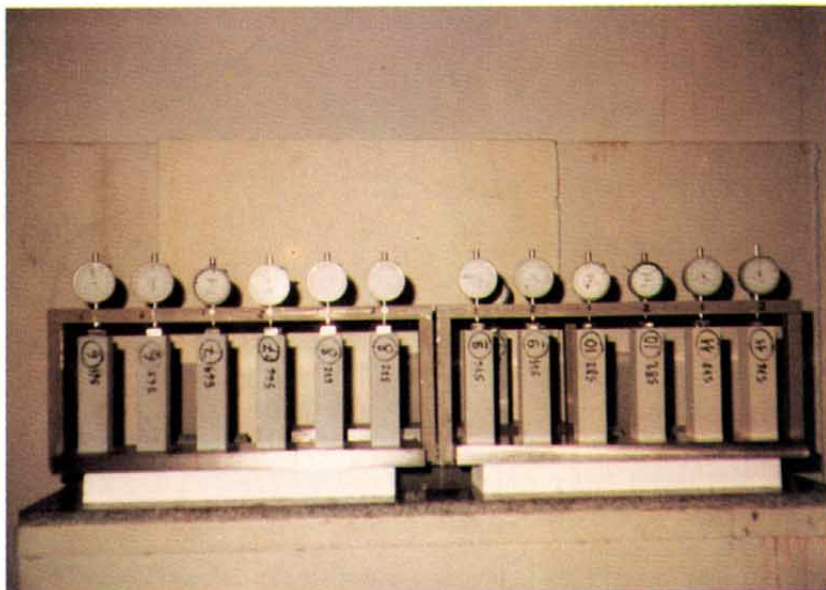


Fig. 14

pedita per il modulo d'elasticità dei materiali e che la conseguente sollecitazione ( $\sigma = E \varepsilon$ ) si può smorzare solo grazie al rifluimento viscoso dei due materiali accoppiati (se non si è già distrutta la congruenza con conseguenti crepe di elementi o sfogliamenti di strati). Infatti anche se non si arriva ad una rottura il sistema risulta «precaricato» (in sostanza come un bimetallo) e bastano piccole sollecitazioni aggiuntive per portare ad un crollo subitaneo e catastrofico del sistema come è facilmente osservabile nei molti casi di sfondellamento rapido dei solai in latero cemento (vedi Foto 2). Si riporta nel seguito una tabella relativa alle principali caratteristiche di variazione di proprietà meccaniche e dimensionali dei materiali più comunemente usati nel recupero. Si faccia particolare attenzione alle caratteristiche di dilatazione termica dei materiali considerati «ben noti» come i cosiddetti «inossidabili» che provocano sulle realtà applicative gravi problemi di distacco e decoesione.

$\gamma \times 10^6 \text{ E kg/cm}^2 \times \text{cm}$

Alluminio	24	600.000
Inox	16	1.700.000
Ferro	12	2.000.000
Cls (inerte siliceo)	11	300.000
Cls (inerte calcereo)	10	200.000
Cls di argilla espansa	8	100.000
Laterizio	3-4	300.000

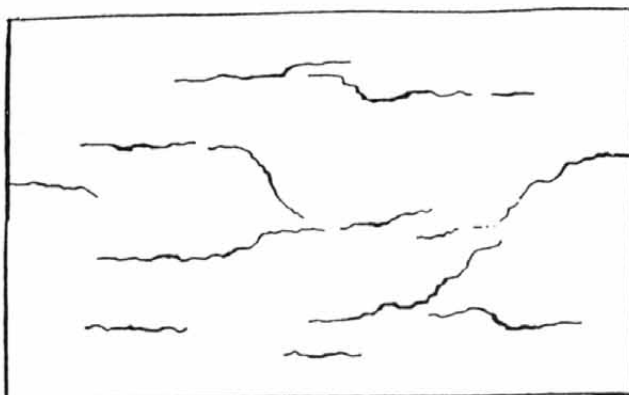
— Variazioni dimensionali di un calcestruzzo per umidità (o per asciugatura) 300-350  $\mu/\text{mt}$  (da asciutto a saturo).

— Variazioni di laterizio da 300 ad 800  $\mu/\text{mt}$  (attenzione è una variazione per oltre 30-50% irreversibile!).

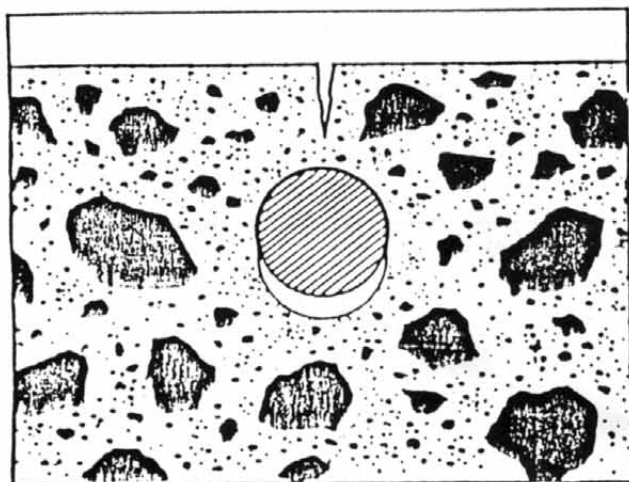
— Variazione dimensionale calcestruzzo in fase plastica 2.000-3.000  $\mu/\text{mt}$ .

Le variazioni dimensionali del calcestruzzo in fase plastica sono normalmente tali (se impedita da armatura o forme) da portare ad una naturale pre-fessurazione dello stesso (Vedi Fig.

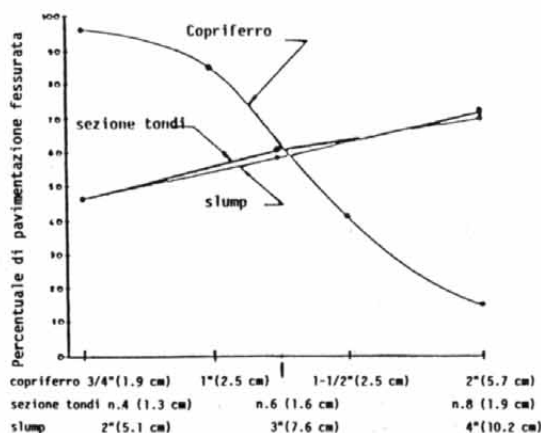
Fig. 15



Esempio tipico di fessurazioni dovute a ritiro plastico



Fessurazioni dovute ad impedito assestamento



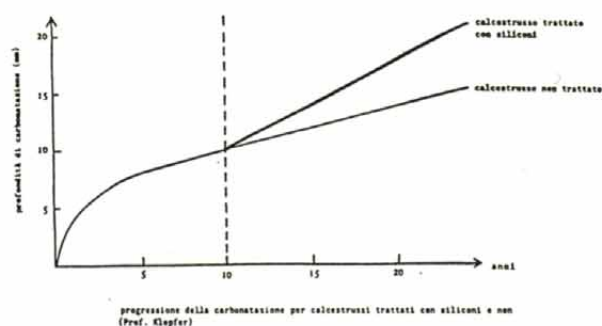
Fessure di assestamento in funzione della sezione dei tondi, dello slump e dei copriferri

15). Questo fatto influirà pesantemente sul comportamento futuro di tale calcestruzzo. Le caratteristiche dei materiali di ripristino devono essere evidente-

mente compatibili con le parti preesistenti. Questo è particolarmente importante per quanto riguarda la permeabilità degli strati sovrapposti.



Fig. 16



Una brusca variazione di permeabilità unita a probabili vicende termiche (normali dei nostri climi) può portare al facile distacco degli strati superficiali

o ad una sostanziale variazione (a volte assai negativa) del comportamento del manufatto all'aggressione dell'ambiente esterno (quindi «piling» scrosta-

ture, accelerazione della carbonatazione, ecc.) (Fig. 16).

### 2.3. - Adesione al supporto

Tra le caratteristiche meccaniche fondamentali dei materiali di ripristino c'è l'adesività tra vecchio materiale e materiale di ripristino. Si avrà quindi la necessità di verificare l'adesione del nuovo materiale ai vecchi ferri d'armatura e l'adesione vecchio-nuovo conglomerato. Nel primo caso (ferro) occorre togliere gli strati degradati (ruggine e «boiacche» di cemento o materiali organici), trattare le superfici con materiali di protezione o con primer e poi misurare con prova del tipo di quella in figura 17 i valori di adesione, naturalmente a «tempo zero» (dopo 3 giorni di maturazione del materiale, normalmente cementizio di riparazione) ed a «tempo infinito» (dopo 2-3 anni o dopo un invecchiamento accelerato per 180-240 ore in acqua ad 80°C). Nel secondo caso si procederà asportando tutte le zone che non rispondono più alle caratteristiche desiderate (le zone carbonatate nei getti armati, le zone a resistenze meccaniche troppo basse, ecc.) o con presenza di cloruri, a rendere «vive» le superfici trattate (in sostanza riportando e mantenendo acqua nel primo strato del calcestruzzo) e si riporterà il materiale di ripresa curando che le variazioni dimensionali dello stesso non portino, a tempo zero ed a tempo infinito, sollecitazioni eccessive sull'interfaccia (si veda il precedente paragrafo!). Si procede poi a verificare l'efficacia dell'incollaggio con uno dei tanti metodi di strappo del tipo di quello illustrato in figura 17 e 18, ed accertare, a tempo zero ed a tempo infinito (3), le caratteristiche del sistema.

Le dizioni «tempo zero» e «tempo infinito» sono dizioni convenzionali per indicare la «presa di servizio della struttura» e per in-

Foto 2



Fig. 17

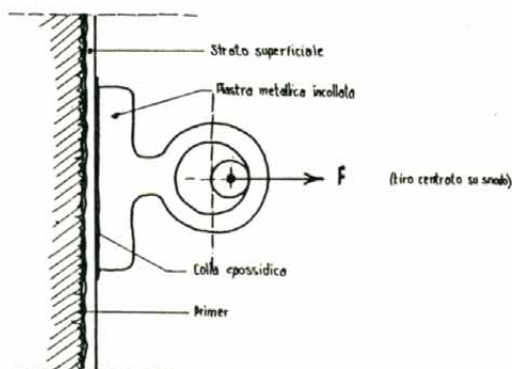
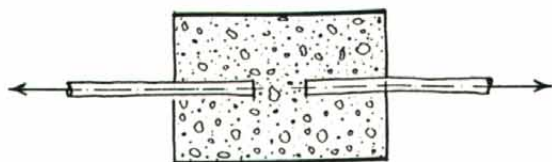


Fig. 18

VERIFICA DI ADESIONE E DI ADERENZA DEL PRIMER E STRATO SUPERFICIALE AL MATERIALE DI BASE (solitam. CLS)



dicare il funzionamento dopo un adeguato (10-20-30 anni) tempo di servizio.

#### 2.4 - Previsione del modulo elastico

Secondo quanto detto nel paragrafo 2.2 è il prodotto del modulo elastico per le variazioni dimensionali che interessa.

Occorre quindi, per ogni materiale di riparazione e per i materiali da riparare avere le costanti elastiche, le costanti viscose e le loro variazioni nel tempo e nelle varie condizioni di esposizione.

Si ricordi in particolare che le costanti elastiche variano con l'umidità del calcestruzzo e che spesso si trascura l'influsso delle deformazioni differite sulla valutazione delle deformazioni, per cui si sovrastimano le caratteristiche di

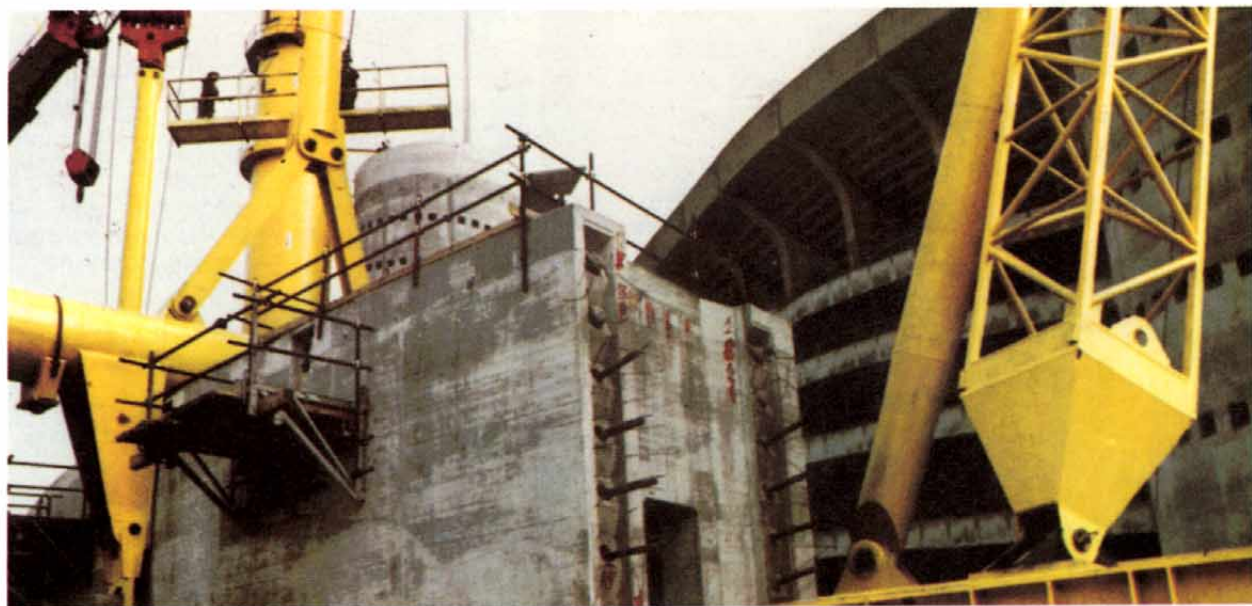
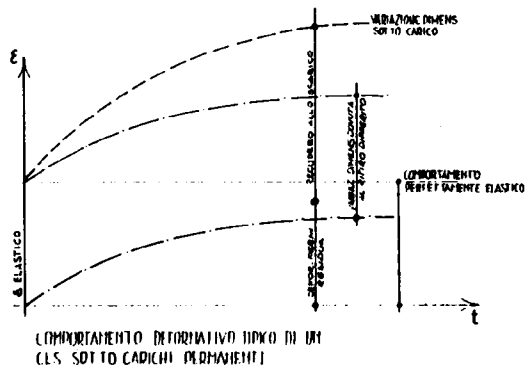
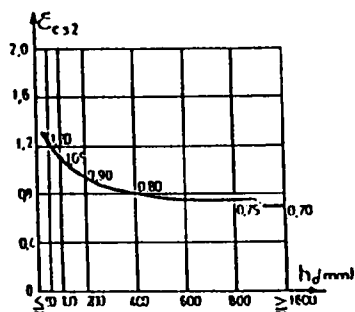




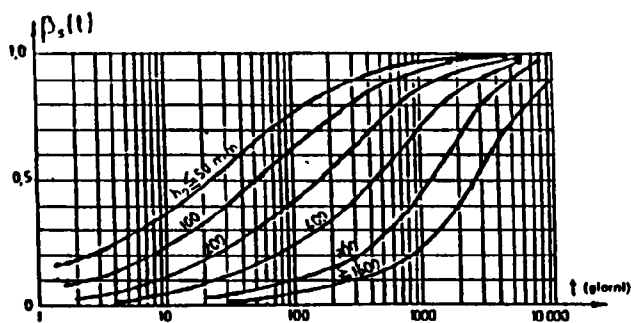
Fig. 19



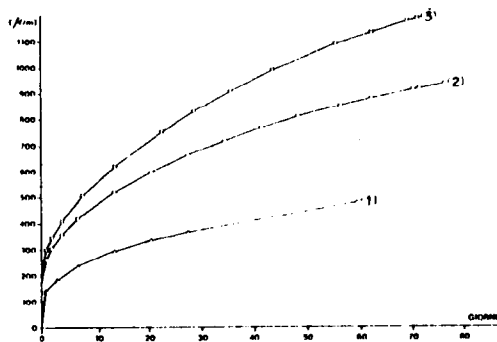
Comportamento deformativo tipico di un c.l.s. sotto carichi permanenti



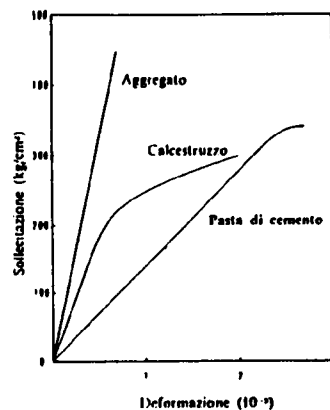
Influenza dello spessore fittizio sul ritiro



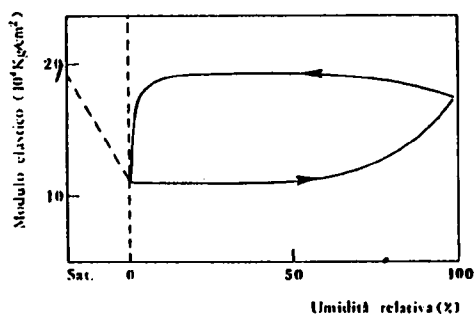
Sviluppo del ritiro nel tempo



Prove di rifiuto per calcestruzzi di diversa composizione e pari resistenza



Andamento schematico della deformazione in funzione della sollecitazione di compressione per pasta di cemento, inerte e calcestruzzo



Variazione del modulo elastico in funzione dell'umidità relativa

rifiuto (vedi Fig. 19). Per gli acciai normali e da c.a.p. esistono chiare tabelle che danno il rifiuto (o rilascio) in funzione delle temperature e delle sollecitazioni (vedi Fig. 20). Si ricordi in particolare che il ri-

fiuto viscoso dei cosiddetti inossidabili può essere assai rilevante ed è normalmente tale da rendere molto difficoltoso l'affidare agli stessi una funzione di «messa in coazione» (precompressione) del calcestruzzo.

## 2.5 - Durabilità nelle condizioni ambientali previste

Ogni materiale impiegato ha una propria caratteristica di «durata» a seconda delle condizioni ambientali (valori del pH, tempera-

Produzione, messa in opera, prestazioni e criteri di rispondenza) definisce le seguenti classi di esposizione in relazione alle condizioni ambientali:

- 1 ambiente secco
- 2 ambiente umido
  - a) senza gelo
  - b) con gelo con gelo e sali disgelanti
- 3 ambiente umido
  - a) senza gelo
  - b) con gelo
- 4 ambiente marino
  - a) senza gelo
  - b) con gelo
- 5 ambiente chimico aggressivo (atmosfera industriale aggressiva)
  - a) leggermente aggressivo
  - b) moderatamente aggressivo
  - c) altamente aggressivo

(Le classi 5a, 5b e 5c possono presentarsi da sole o in combinazione con le classi precedenti). La previsione della vita di servizio di una struttura (durabilità) può essere valutata attribuendo un indice a ciascun materiale (M), progetto (P) e sistema costruttivo (C).

$M_1 \div M_3; P_1 \div P_3; C_1 \div C_3$   
In una matrice i tre fattori verrebbero combinati con differenti classi di esposizione in relazio-

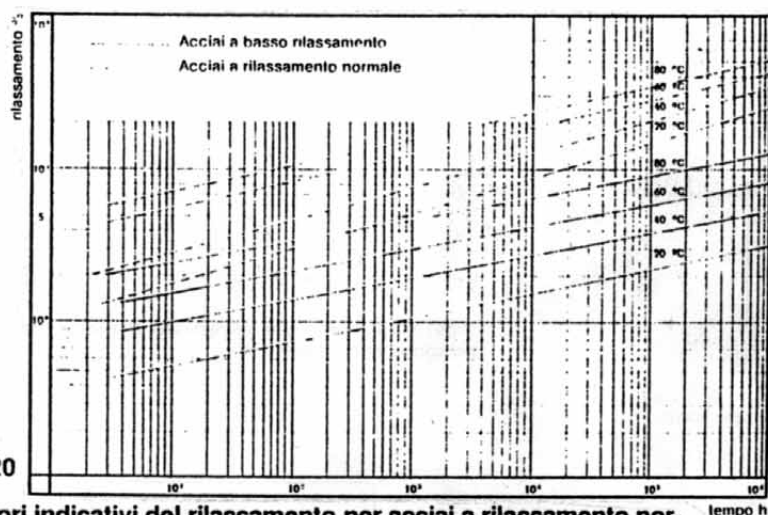


Fig. 20

Valori indicativi del rilassamento per acciai a rilassamento normale e a basso rilassamento (tensione iniziale = 0,75 fptk)

tura, variazioni e velocità di variazione dei valori di pH e temperatura, ecc.).

I parametri del materiale che hanno influenza sulla vita utile della struttura sono:

- il rapporto acqua/cemento del calcestruzzo;
- la classe di resistenza del calcestruzzo.

I parametri di progetto che possono avere influenza sulla vita utile sono:

- le sollecitazioni (massime) a flessione e il grado di apertura delle fessure;
- lo spessore di ricoprimento delle armature;
- l'orientamento delle superfici e in particolare il fatto che queste siano orizzontali o verticali e che si trovino oppure no a contatto con l'ambiente esterno;
- le condizioni di carico di dette superfici e in particolare il fatto che queste siano costantemente sotto carico di compressione o trazione con rischio o tendenza alla fessurazione.

I parametri di costruzione che possono avere influenza sulla vita utile sono:

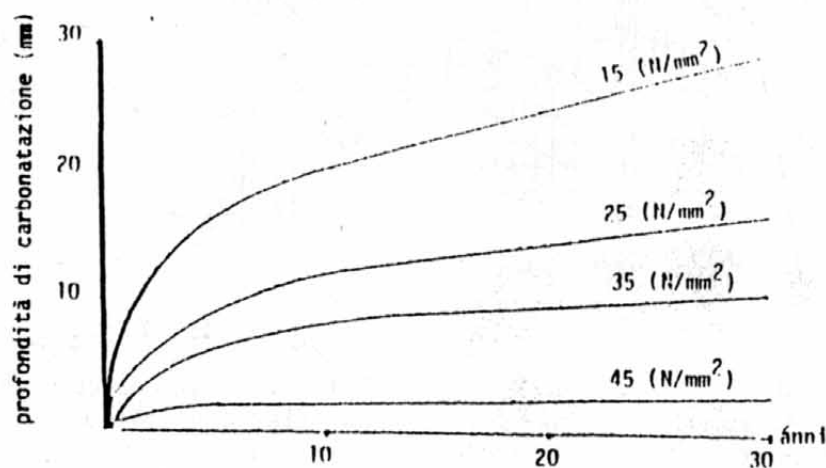
- l'esperienza e la qualifica del

personale, i mezzi di lavoro, le condizioni ambientali di cantiere;

— le condizioni e i metodi di stagionatura.

La reale vita di servizio di una struttura dipende però anche dalle condizioni ambientali alle quali essa risulterà esposta. A questo proposito la ENV 206 (Norme Europee: Calcestruzzo-

Fig. 21a



Influenza della qualità del cemento sulla profondità di carbonatazione

ne a tre diversi valori di vita di servizio. Per chiarezza si riporta la «Matrice di durabilità».

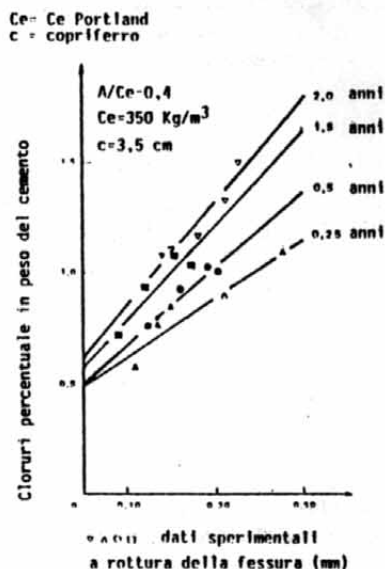
## Matrice di durabilità

Nel caso degli acciai esistono tabelle e dati standardizzati, per i calcestruzzi e le malte (di base o di riparazione) detti valori sono assai sensibili oltre che alla composizione, ai trattamenti di superficie ed alla fessurazione eventuale delle stesse.

Si riporta a titolo di esempio (Fig. 21a) il diagramma di profondità di carbonatazione in funzione del tempo, di calcestruzzo di diversa compattezza e due esempi di corrosione di armatura di un viadotto autostradale e di contenuto di cloro (e quindi possibilità di attacco delle armature di superficie) alla base delle fessurazioni superficiali in funzione del tempo (Fig. 21b).

Chiaramente oltre alla durabilità del materiale impiegato è di fondamentale importanza il come

**Fig. 21b - Contenuto di cloruri alla base delle fessure in funzione dell'età e dell'ampiezza delle fessure**



detto materiale è messo in opera (Fig. 21c).

Indagini statistiche volte sul mercato USA ed in Italia (bibliografia n. 14) hanno mostrato che una mediocre messa in opera può ridurre la vita sperata di 3-5 volte.

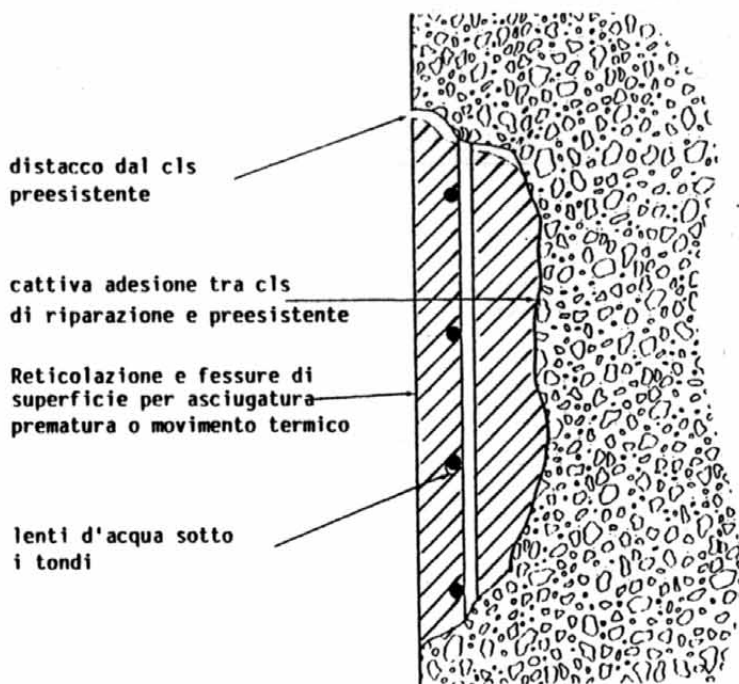
## 2.6 - Le Normative di riferimento ed il controllo dei risultati

L'analisi di cause, meccanismi e metodi di prevenzione del degrado più completa è riportata dal CEB (bibliografia n. 2).

Le normative italiane (vedi regolamenti e decreti ministeriali attuativi delle leggi 1086 e 64) (bibliografia n. 15), richiedono un controllo sulla produzione del calcestruzzo (ogni 100 mc di getto) e sugli acciai impiegati (si veda la normativa sul ferro «control» sul tondo, treccia e trefoli da c.a.p. riportata nella stessa normativa - negli allegati - ecc.). Solo recentemente nel DM attuativo della legge 64 sulle costruzioni prefabbricate si danno indicazioni sulla necessità che il produttore indichi con chiarezza le operazioni necessarie per garantire la durabilità di elementi o sistemi (Esempio 3 - si riporta integralmente il paragrafo).

In sostanza però oltre alle normative o leggi tecniche di riferimento (è in fase di avanzata preparazione anche la normativa europea CEN Norme della Comunità Europea - al riguardo) occorre impostare i lavori secondo le procedure di controllo di

**Fig. 21c - Esempio di possibili difetti di riparazione**





Classe di esposizione	I	II	III
1	M1 M2 M3 P1 P2 P3 C1 C2 C3	M1 M2 M3 P1 P2 P3 C1 C2 C3	M1 M2 M3 P1 P2 P3 C1 C2 C3
2	M1 M2 M3 — P2 P3 — C2 C3	— M2 M3 — P2 P3 — C2 C3	— — M3 — P2 P3 — C2 C3
3	— — M3 — P2 P3 — C2 C3	— — M3 — — P3 — — C3	— — M3 — — P3 — — C3
4	— — M3 — — P3 — C2 C3	— — M3 — — P3 — — C3	— — M3 — — P3 — — C3

I ≤ 25 anni  
 II > 25 ≤ 50 anni  
 III > 50 anni

qualità [15] e secondo i sistemi di garanzia di qualità (GQ).

È in corso di stesura, anche nel nostro paese, una normativa basata su quella già esistente (Norme UNI 8450, «Impianti nucleari - Criteri, prescrizioni e qualità») relativa alla costruzione delle centrali nucleari.

La commissione opera parallelamente alla ISO (International Standard Organization) basandosi sui testi delle UNI-EDL0104: «(Durabilità delle opere e manufatti di calcestruzzo»

parte I

Definizione e liste delle azioni aggressive  
Istruzioni per migliorare la resistenza del calcestruzzo ai solfati

parte II

parte III

Istruzioni per migliorare la resistenza alle acque dilavanti

parte IV

Istruzioni per migliorare la resistenza al gelo e disgelo

parte V

Istruzioni per migliorare la resistenza alla corrosione delle armature

parte VI

Istruzioni per migliorare la resistenza all'acqua di mare...

In assenza di norma internazionale Europea di riferimento (ma tale deficienza dovrebbe cessa-

re entro il 1992) si suggerisce di fare riferimento a questi testi unitamente alle già citate norme e decreti delle leggi 1086 e 64.

### 3. Metodologia d'intervento

#### 3.1 - Le opere previsionali

Dato che il meccanismo di degrado è tale da produrre in prima fase, Fig. 22 e Foto 3, la perdita di frammenti di calcestruzzo di varia dimensione (spalling), oc-

corre innanzitutto fare in modo che la ricaduta degli stessi, spontanea o dovuta ai primi lavori di risanamento, non possa portare danno a cose o persone.

Questo si ottiene con opportuni ponteggi e sbarrando le zone interessate alla ricaduta per una distanza tanto maggiore dalla base della struttura quanto maggiore è l'altezza della stessa (di solito si sbarra la zona sottostan-

te e la zona vicina per una profondità pari ad 1/15 dell'altezza).

Si provvede poi, operando sul ponteggio, ad effettuare le varie operazioni di asportazione delle zone ammalorate, pulizia dei ferri, ecc. A questo punto, sulla base delle valutazioni di uno strutturista (che possa valutare l'effetto della perdita di sezione dei ferri, del degrado dei calcestruzzi, della perdita di aderenza ferro-

calcestruzzo, dei nuovi meccanismi di funzionamento strutturali che si sono instaurati, ecc.), si procederà alla puntellazione dell'opera avendo cura di scaricare (in parte od in tutto) gli elementi su cui si vuole intervenire (Foto 4).

Ad intervento di rinforzo compiuto bisognerà, operando con la necessaria gradualità, riportare carico sull'elemento ri-

### Esempio 3

7-5-1988

Supplemento ordinario alla GAZZETTA UFFICIALE

Serie generale - n. 106

Nel caso di serie «controllata» devono essere acquisiti dal collaudatore i risultati delle prove eseguite dal laboratorio ufficiale o autorizzato.

#### 6. USO E MANUTENZIONE

Il produttore di elementi prefabbricati dovrà fornire al committente gli elaborati (disegni, particolari costruttivi, ecc.), firmati dal progettista e dal responsabile della produzione, secondo le rispettive competenze, contenenti istruzioni per il corretto impiego dei singoli manufatti, esplicitando in particolare:

- a) destinazione del prodotto;
- b) requisiti fisici rilevanti in relazione alla destinazione;
- c) prestazioni statiche per manufatti di tipo strutturale;
- d) modalità di trasporto e di montaggio nel caso di fornitura di componente;
- e) prescrizioni per le operazioni integrative o di manutenzione, necessarie per conferire o mantenere nel tempo le prestazioni e i requisiti dichiarati;
- f) tolleranze dimensionali nel caso di fornitura di componente;
- g) estratto del registro di produzione di cui al punto 5.2.1. per il periodo relativo.

Nella documentazione di cui sopra il progettista deve indicare espressamente:

le caratteristiche meccaniche delle sezioni, i valori delle coazioni impresse, i momenti di servizio, gli sforzi di taglio massimo, i valori dei carichi di esercizio e loro distribuzioni, il tipo di materiale protettivo contro la corrosione per gli apparecchi metallici di ancoraggio, dimensioni e caratteristiche dei cuscinetti di appoggio, indicazioni per il loro corretto impiego;

prescrizioni relative al carico sui mezzi di trasporto, alle modalità di sollevamento e agli eventuali presidi provvisori (puntelli, rompitratta, controventi) da disporre durante il montaggio;

se la sezione di un manufatto resistente deve essere completata in opera con getto integrativo, la resistenza richiesta;

la possibilità di impiego in ambiente aggressivo, e le eventuali variazioni di prestazioni che ne conseguono; per i pannelli di chiusura le resistenze termiche e le caratteristiche degli eventuali materiali incorporati nel manufatto;

l'eventuale necessità (in relazione all'impiego) di integrare la resistenza termica dei manufatti o di applicare sulle superfici intonaci o rivestimenti protettivi.

##### 6.1. Cambiamento d'uso dell'opera.

Nel caso di cambiamento d'uso dell'opera, la proprietà deve provvedere a fare effettuare una verifica strutturale di progetto dell'intera opera da tecnico a ciò abilitato.

Per cambiamento d'uso si intende qui quello che comporta azioni di esercizio non previste in fase di progettazione. Detta verifica, firmata, dovrà essere conservata agli atti.

##### 6.2. Controlli di esercizio successivi.

Saltuariamente, ove ritenuto necessario in relazione a possibili o temuti degradi delle opere ed in circostanza di modifica di fatti che possono influire sulle condizioni di esercizio della struttura (destinazione, configurazione di carichi, ecc.), la proprietà dovrà disporre indagini e/o prove atte ad accertare le condizioni statiche delle strutture.

Dovranno effettuarsi rilevazioni, soprattutto in corrispondenza di eventuali fessure o lesioni e delle unioni, da sottoporre ad accurato esame.

I risultati delle prove, in quanto non possono considerarsi in generale totalmente probanti ai fini proposti, non esimono dall'acquisizione di tutti gli altri elementi pertinenti.

87A11976

GIUSEPPE MARZIALE, direttore

FRANCESCO NOSTA, redattore  
ALFONSO ANDRIANI, vice redattore

(7652196) Roma - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato - 3.

(c. m. 411200881060)

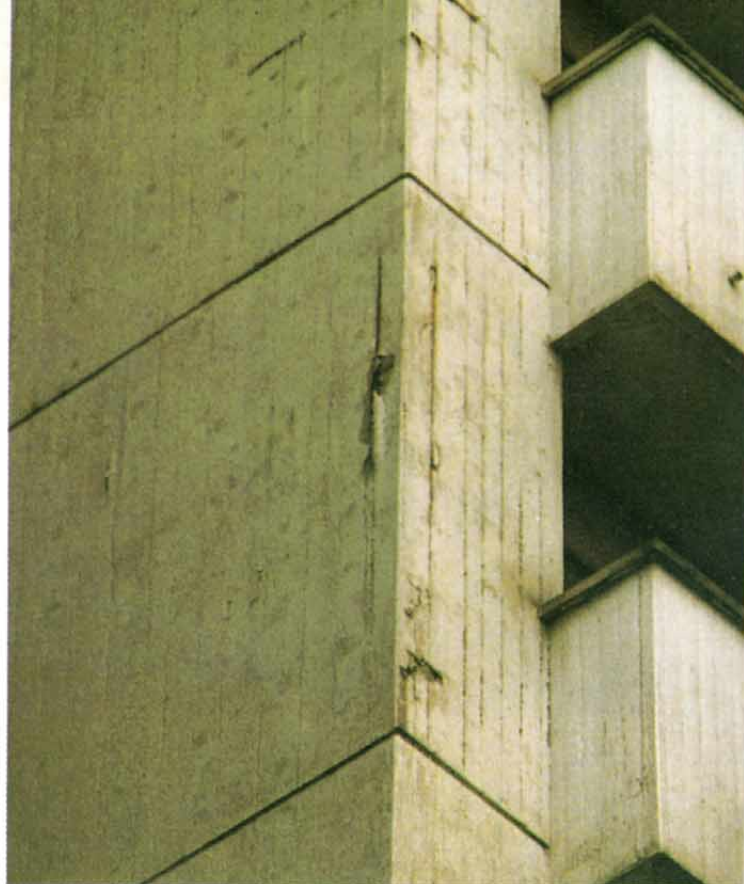


Foto 3.

parato e verificare se il nuovo schema atteso si è realizzato (se no occorrerà ripetere l'operazione e così via).

### 3.2 - Ripristino con maggiorazione delle sezioni

Se esistono perplessità sulla sufficienza delle caratteristiche strutturali dell'elemento o sull'entità dei copriferri è opportuno cercare di aumentare le sezioni riparate.

Questo intervento, sempre che non cambi resistenzialmente il carico sulla struttura e quindi il valore delle sollecitazioni, è utile soprattutto ai fini della vita desiderata dell'elemento dopo le operazioni di riparazione: si deve infatti ricordare che gli alti costi di un intervento di riparazione possono trovare compenso solo riportando la vita attesa della struttura almeno al livello iniziale e, se possibile, oltre lo stesso (è però da notare che, ad oggi, ben pochi interventi danno le garanzie di allungare la vita utile di

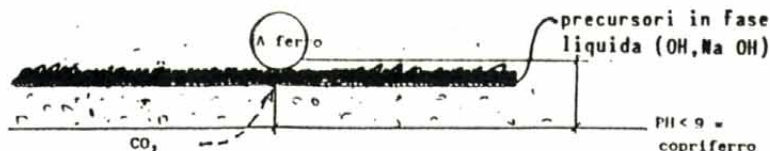
una struttura; è già risultato eccellente raggiungere la vita utile originariamente prevista dal progettista). (Fig. 23).

Per quanto riguarda l'entità dell'incremento di vita attesa per la struttura si può far riferimento alla durata (facile da calcolare con gli esempi riportati nelle Fig. 21 e 24) dei nuovi copriferri realizzati in materiali di bassa permeabilità (bassa ma non tale da provocare distacco) e di buone caratteristiche chimico-meccaniche come indicato nel precedente punto 2.5.

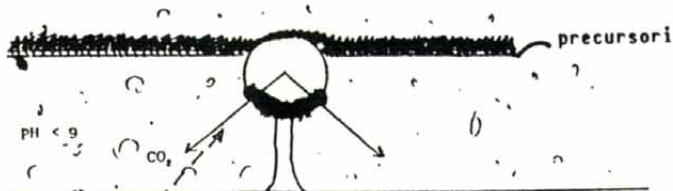
### 3.3 - Ripristino senza maggiorazione delle sezioni

Se non esistono particolari perplessità di ordine statico (e si hanno quindi bassi tassi di lavoro del calcestruzzo e degli acciai, buona aderenza tra gli stessi, ecc.) e ci si trova di fronte ad un puro degrado di superficie

Fig. 22

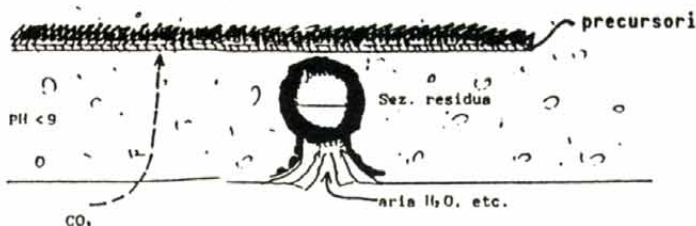


Il fronte di carbonatazione, partito dalla "pelle esterna", avanza a  $x$  mm/anno e non ha ancora interessato le zone dell'armatura. (PERIODO DI INNESCO)



Almeno una parte dell'armatura è in zona carbonatata ed è interessata dall'attacco di  $O$ ,  $Cl$ ,  $H_2O$ .

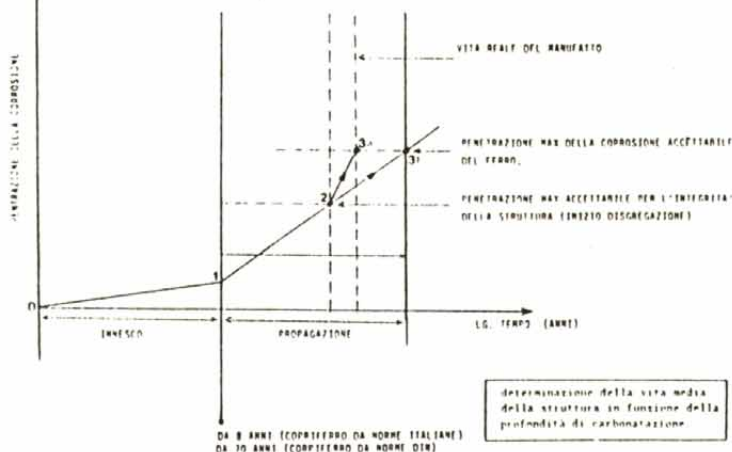
La ruggine formata ha un volume di un ordine di grandezza maggiore dei prodotti di partenza. genera pertanto fortissime azioni di trazione nel cls. che non è in grado di resistere, si fessura e si disgrega (il manufatto praticamente esplode).



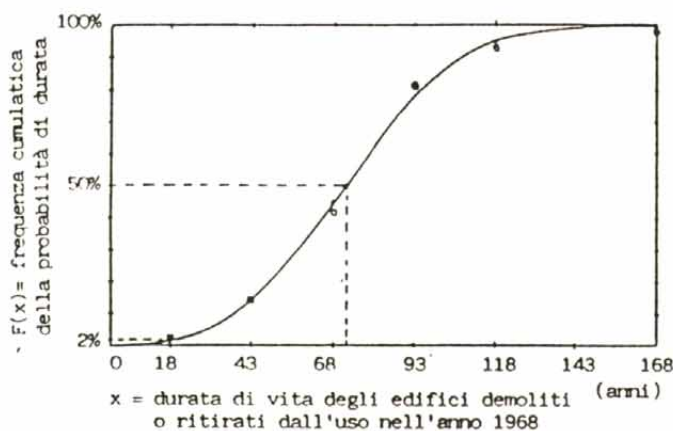
Avvengono distacchi di "pezzi" e il ferro conseguentemente esposto direttamente all'atmosfera si ossida ad altissima velocità.



Fig. 23



Curva di distribuzione dei tempi di vita di strutture



senza possibilità di attacchi per cloro, correnti vaganti (correnti indotte dovute, ad esempio, alla presenza di motori in c.c., ecc.) è possibile anche attuare una ricostruzione dell'elemento senza una maggiorazione di sezioni. In tal caso però essendo di solito modesto il valore del copriferro, particolare cura deve essere posta al trattamento finale delle superfici.

Conviene quindi completare la ricostruzione con un trattamento di superficie (verniciatura od impregnazione) che consenta di rallentare in modo sostanziale l'aggressione dell'atmosfera.

Occorrerà naturalmente seguire le cautele di corretta scelta di applicazione, corretta messa in opera e corretti valori di per-

meabilità alle varie sostanze già precedentemente indicate (Fig. 25).

### 3.4 - Intervento su elementi non armati

Si è voluto trattare separatamente quest'ultimo caso perché qui non è necessario demolire tutte le parti chimicamente non passivate.

La non carbonatazione del calcestruzzo o la non presenza di cloro, è infatti richiesta solo ai fini di una corretta protezione delle armature.

Nei grandi getti non armati o nei semplici blocchi di muro, la carbonatazione interessa solo per gli effetti indotti dalla variazione dimensionale prodotta dalla carbonatazione stessa. Infatti le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo carbonatato sono in generale migliori del calcestruzzo originario.

Si ricorda al riguardo che le norme francesi per i blocchi di muro e le DIN per i fibrorinforzati di copertura arrivano a prescrivere che gli elementi siano precarbonatati (4), per non incorrere in problemi di variazio-

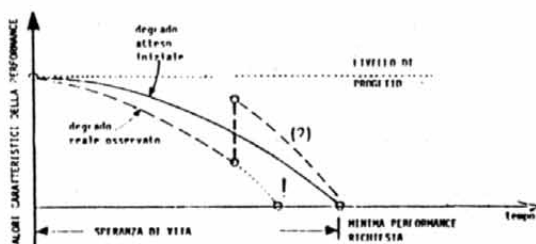
Foto 4.



Fig. 23a - Carbonatazione in una fessura aperta.



Fig. 24 - Riqualificazione come correzione di un degrado accelerato



ne dimensionale (e conseguenti crepe, ecc.).

(4) La carbonatazione accelerata può ottenersi o con atmosfera ad UR 60-70% ed alto tasso di CO<sub>2</sub> per 1-2 mesi o con l'uso di ghiaccio secco.

## 4. La manutenzione e la protezione delle opere ripristinate

### 4.1 - La manutenzione programmata

Fig. 26 - Esempi di variazione di azioni esterne nel tempo (M = azione meccanica; F = azione fisica; C = azione chimica)

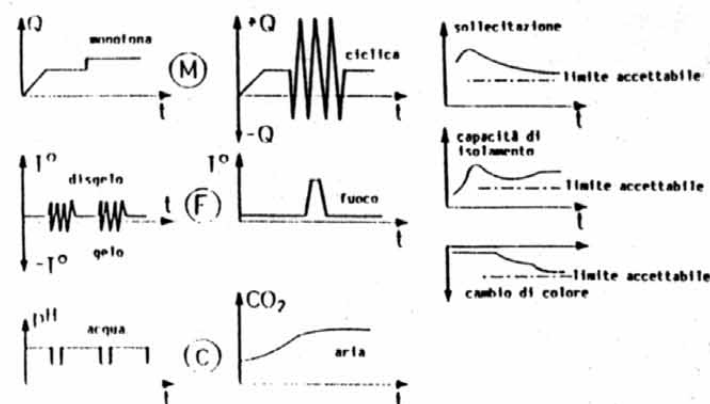
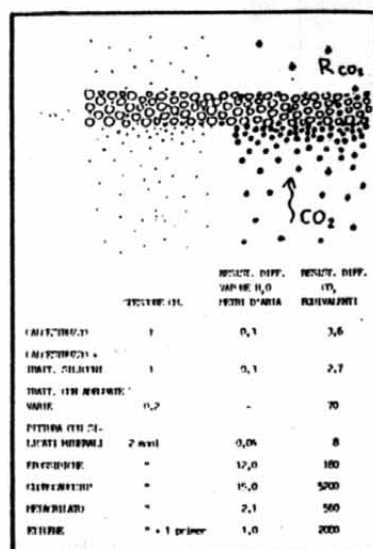


Fig. 25.



È ormai accettato da tutti che il concetto di «vita» di una struttura è correlato al concetto di uso e manutenzione della medesima.

Le sollecitazioni tipiche a cui è sottoposta una struttura nella sua «vita» sono riportate nella Fig. 26 mentre nella Fig. 27 è riportata una possibile combinazione dagli stessi effetti.

È evidente che se si interviene appena compare un inizio di guasto, gli effetti non interagiranno con altri possibili eventi negativi. Di qui il concetto di «manutenzione». Dato però che molti di questi eventi negativi (carbonatazione, dilavamento, ecc.) sono prevedibili è possibile programmare gli interventi manutentivi realizzando, così, un preciso schema di «manutenzione programmata» ottimale della struttura.

In termini di costi indicativi si riportano le cosiddette «regole dei 5» che legano la tempestività dell'intervento al suo costo (Fig. 28 e 29).

Si hanno diversi «periodi» della vita della struttura e (la curva è basata su dati statistici di costo riferiti ad una situazione Nord-Europea) si può agevolmente notare che il «ritorno» dell'investimento in manutenzione è assai elevato (oltre naturalmente ad evitare il fuori servizio della struttura stessa).

Fig. 28

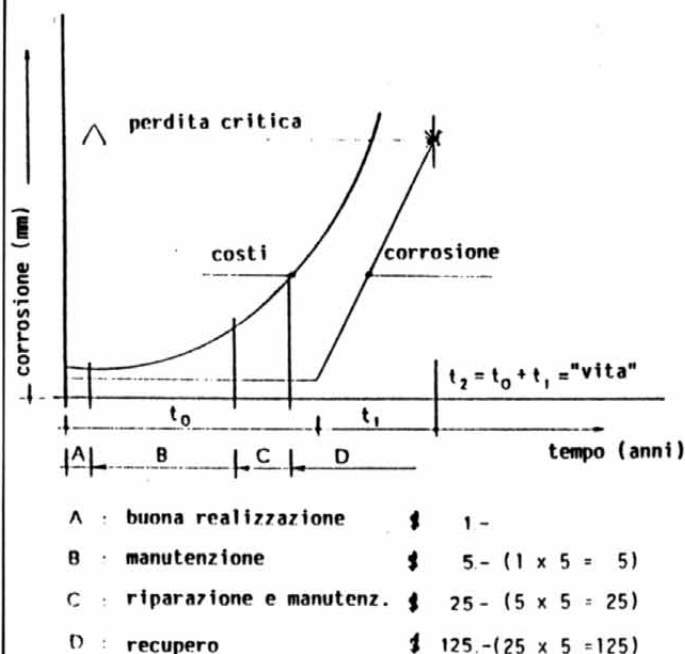


Fig. 27

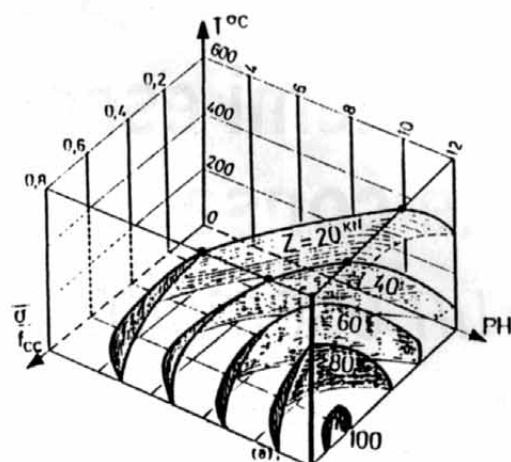


Diagramma pseudo-quantitativo degli effetti sinergici di azioni meccaniche, fisiche, chimiche, sulla resistenza di un ancoraggio (Z).

#### 4.2 - La protezione di opere nuove

La protezione delle opere nuove può essere vista come «manutenzione preventiva». È infatti possibile, con adeguati trattamenti di superficie, evitare che l'aggressione dell'ambiente possa interessare i calcestruzzi e togliere così tutta una serie di con-

seguenze negative agendo nello spirito del precedente paragrafo. Le principali indicazioni d'intervento sono già state riportate nel paragrafo 3.5.

#### 4.3 - La protezione di opere ripristinate

Completate le operazioni di ri-

pristino, occorre considerare attentamente le caratteristiche specifiche dei materiali usati prima di iniziare il ciclo di manutenzione delle strutture ripristinate. Siccome però non è possibile che il lavoro sia totalmente senza difetti esecutivi, è opportuno provvedere subito ad una protezione di superficie con i criteri già esposti nel paragrafo 3.5.

Fig. 29 - Livelli di danno di elementi edili soggetti a corrosione degli acciai

Indicazioni Visive	LIVELLO DI DANNO				
	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"
Cambio di colore	macchie di ruggine	come in "A"	come in "A"	come in "A"	come in "A"
Crepe	alcune longitudinali	diverse longitudinali ed alcune sulle staffe	estese	come in "C"	come in "C"
Spalling	—	alcune	estese	in alcune zone l'acciaio non è più a contatto con il cls	come in "D"
Perdite di sezione ( $\Delta A_s : A_s$ )	—	- 5%	- 10%	- 15%	alcune staffe rotte
Frecce	—	—	—	possibile	reali

Corrispondenti a spessori di ossido:  $t_o = \alpha \cdot \frac{\Delta A_s}{A_s} \cdot \phi$ , dove

" $\phi$ " = diametro del tondo  
 $\alpha$  1 = per ossidi semplici  
 $\alpha$  2 = per ossidi misti con materiale cementizio